



Er der vedvarende energi nok til os alle?

om brændselsceller og elektrolyseceller til effektiv energikonvertering

Hauch, Anne

Publication date:
2015

Document Version
Peer reviewed version

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):

Hauch, A. (Author). (2015). Er der vedvarende energi nok til os alle? om brændselsceller og elektrolyseceller til effektiv energikonvertering. Sound/Visual production (digital)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Er der vedvarende energi nok til os alle?

- om brændselsceller og elektrolyseceller til effektiv energikonvertering

Anne Hauch (hauc@dtu.dk)

Seniorforsker; DTU Energikonvertering og -lagring

Kl. 10.00-10.15: Intro

Kl. 10.15-10.20: Strække-ben-pause + demo

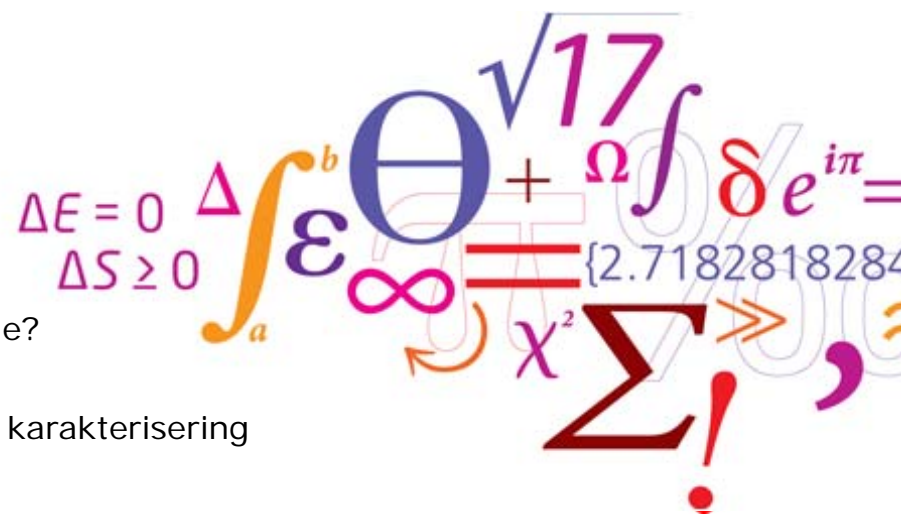
Kl. 10.20-10.35: Hvad er en brændselscelle/elektrolysecelle?

Kl. 10.35-10.45: Strække-ben-pause + demo

Kl. 10.45-11.10: Fastoxid brændselsceller – produktion og karakterisering

Kl. 11.10-11.15: Strække-ben-pause + demo

Kl. 11.15-11.30: Elektrolyseceller – at lagre energi til senere brug.



DTU Energikonvertering

Institut for Energikonvertering og -lagring

Introduktion – hvem er jeg og hvad laver jeg?



Kemiker med sidefag i fysik (AU)
Gymnasielærer – stakkels elever!

.....startede som ph.d.-stud. i
2004 i Afd. for Materialeforskning
(brændselscellegruppen)...



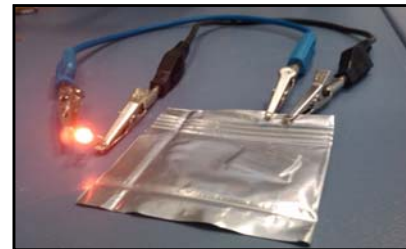
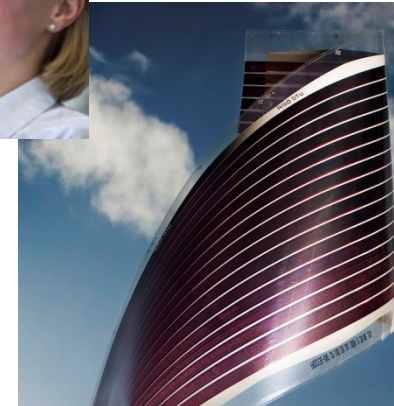
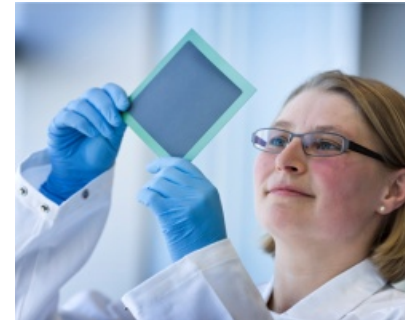
Seniorforsker på DTU Energikonvertering
– elektrokemisk + mikrostruktur karakterisering af brændsels- og elektrolyseceller
+ en glad underviser af 4. års ingeniørstuderende ☺

Introduktion – hvem er vi og hvad laver vi?



DTU Energikonvertering – Teknologier

- Keramiske brændselsceller
- Polymer-brændselsceller
- Elektrolyse
- Polymer-solceller
- Batterier
- Syntetiske brændsler
- Membraner til ilt- eller brintfremstilling
- Magnetisk køling
- Termoelektriske komponenter
- Elektrokemisk rensning af røggasser
- Superledende komponenter



DTU Energikonvertering – ansatte:

- VIP'er: Fysikere, kemikere, matematikere, geologer m.fl.
- TAP'er: Laboranter, teknikere (flymekaniker, elektriker, maskinarbejder, kleinsmed, maskinmester, datamatiker m.fl.)

Brændselsceller og elektrolyseceller

1. Brændselscellernes historie
2. Brændselscellernes virkemåde
3. Forskellige brændselsceller – deres fordele og ulemper
4. SOFC – Solid Oxide Fuel Cells (Fastoxid brændselsceller)
5. SOFC – Elektrode reaktioner
6. SOFC – Processering/produktion og materialer
7. SOFC – Microstrukturer
8. SOFC – Test/karakterisering
9. SOFC - Life time issues!
10. Lagring af energi – hvorfor og hvordan
11. SOEC – Højtemperatur elektrolyse
12. SOEC – Hvor er SOEC forskningen nu!

Lad mig starte et HELT andet sted...

Er der vedvarende energi nok til os alle?

Energikonvertering...

Er der vedvarende energi nok til os alle?

Kort svar = ja.....("potentially available")

Årlig global influx fra solen: ca. $3 - 4 \cdot 10^{24}$ J

Årlig energiforbrug: ca. $5 \cdot 10^{20}$ J

Jordens overflade "modtager" ca. 6 – 8.000 gange vores forbrug

Regner vi alene på energi fra solen:

0.2 % af jordens areal (ca. 1 mill. km² eller 15 % af Australien)

Ca. 10% "opsamlings-effektivitet"

→Tilstrækkelig energiforsyning

Evans et al., in: Proc. Photovoltaics 2010, H. Tanaka, K. Yamashita, Eds., p. 109.;
 Earth's energy budget, Wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Earth's_energy_budget;
 International Energy Outlook 2010, DOE/EIA-0484(2010), U.S. Energy Information Administration,
<http://www.eia.gov/oiaf/ieo/index.html>

Er der vedvarende energi nok til os alle?

- om brændselsceller og elektrolyseceller til effektiv energikonvertering

Kl. 10.00-10.15: Intro

Kl. 10.15-10.20: Strække-ben-pause + demo

Kl. 10.20-10.35: Hvad er en brændselscelle/elektrolysecelle?

Kl. 10.35-10.45: Strække-ben-pause + demo

Kl. 10.45-11.10: Fastoxid brændselsceller – produktion og karakterisering

Kl. 11.10-11.15: Strække-ben-pause + demo

Kl. 11.15-11.30: Elektrolyseceller – at lagre energi til senere brug.

Hvad er en brændselscelle/elektrolysecelle?

- *deres historie*

1839, William Grove (ilt og brint på platin elektrode. Svovlsyre som elektrolyt)

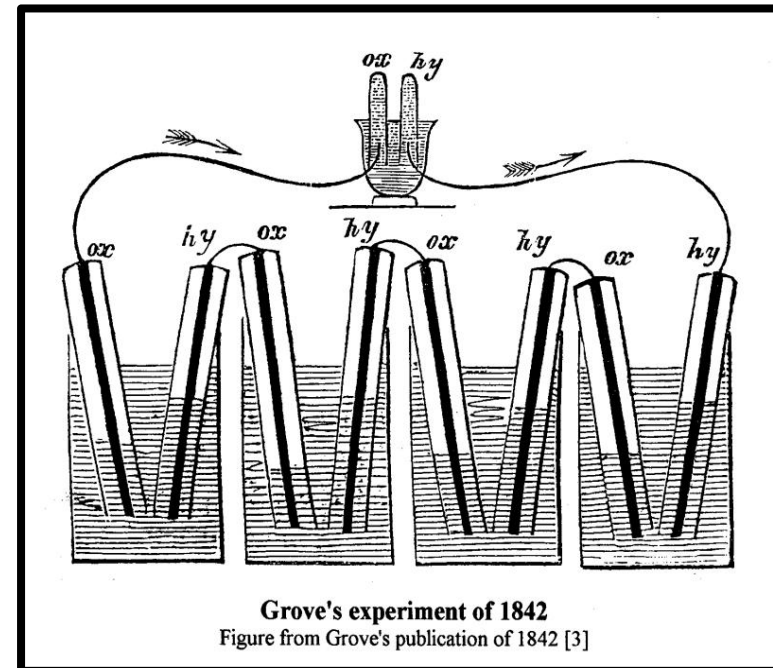
1895, W.W. Jaques Battery of 100 cells, gav 1,5 kW. Smeltet KOH ved 450 °C. Jern katode og carbon anode

1899, Nernst opdager fastoxid elektrolytten

1933, F.T. Bacon. Alkaliske celler. KOH opløst ved 200 °C, luft og ilt på porøst nikkel

1959, 5 kW alkalisk demonstrationssystem

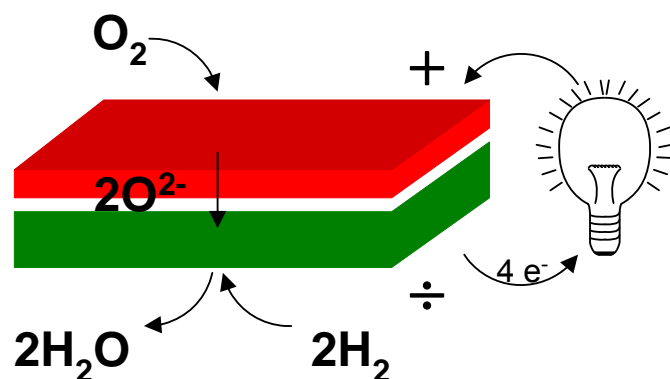
1960'erne – NASA anvender brændselsceller



Hvad er en brændselscelle/elektrolysecelle?

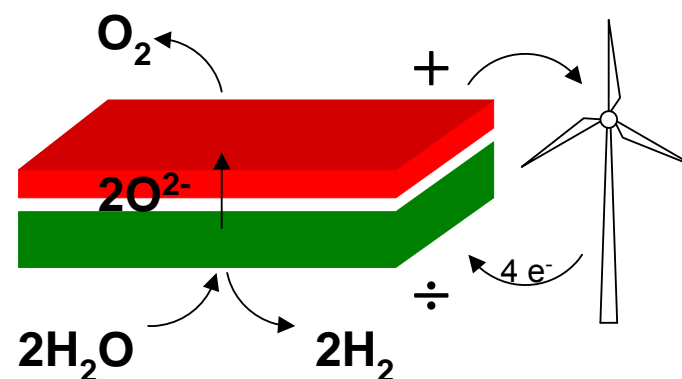
- deres virkemåde

Energikonvertering og lagring –
brændselsceller (SOFC) og elektrolyse celler (SOEC)



Solid **O**xide **F**uel **C**ell

Forbruger brint (H_2)
Producerer elektrisk energi



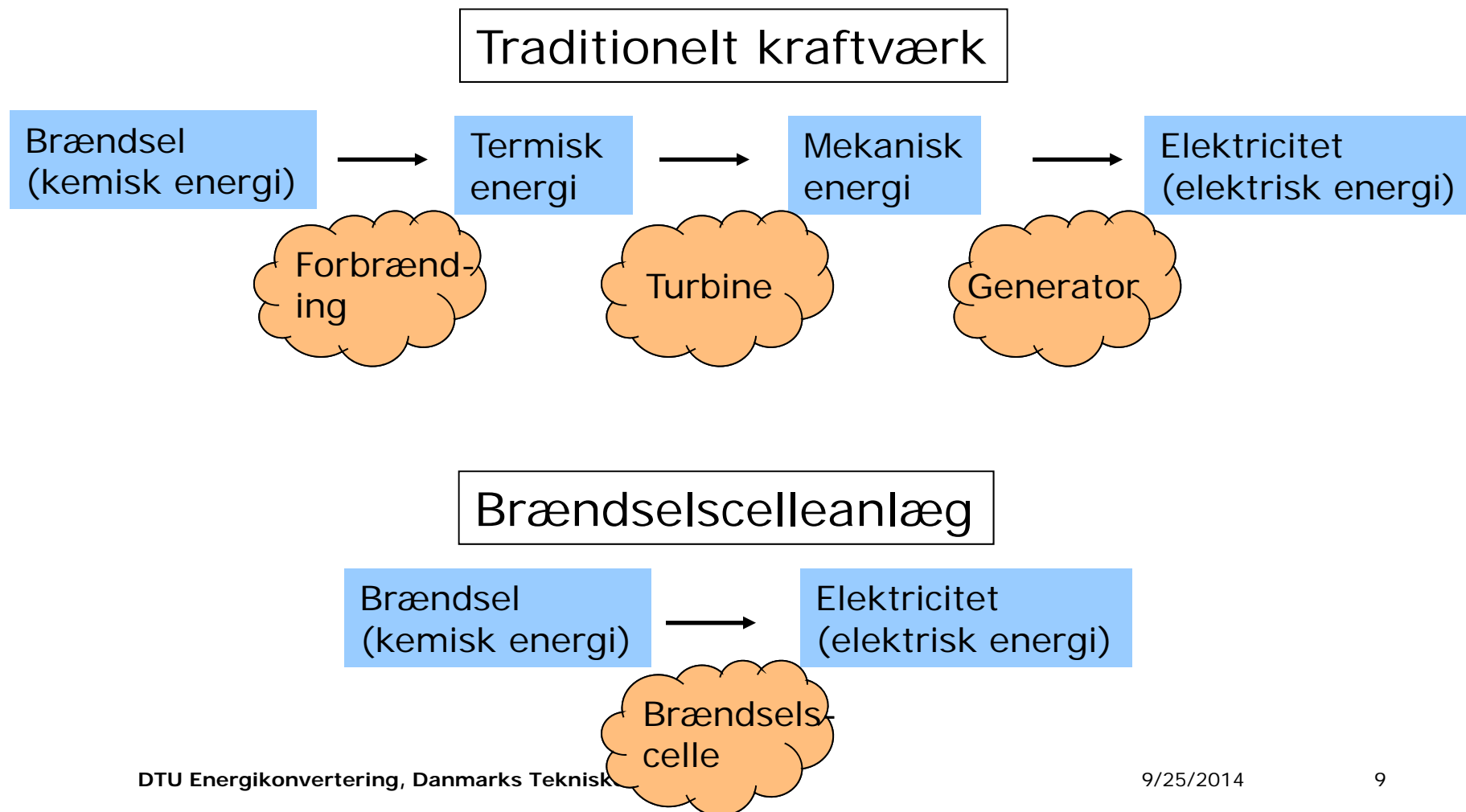
Solid **O**xide **E**lectrolyser **C**ell

Forbruger H_2O og elektrisk energi
Producer H_2 (kemisk bundet energi)

Hvad er en brændselscelle/elektrolysecelle?

- deres virkemåde og effektivitet

En brændselscelle er en multi-lags enhed, der elektrokemisk kan omsætte kemisk energi i et brændsel direkte til elektrisk energi (ligesom i et batteri).



Hvad er en brændselscelle/elektrolysecelle?

- *en mini-ABC / leksikon*

- Konverterer kemisk bundet energi **direkte** til elektrisk energi
- Høj effektivitet (fuel-to-electricity)
- Lav udledning af fx NO_x & CO₂
- Lav/ingen støj
- Modular system fx 0.01 W to 1.000.000 W
- Fleksibilitet mht. brændselstyper
- Delvis belastning – fortsat med høj elektrisk effektivitet
- Hurtige belastningsændringer
- Anvendes til opbevaring af energi ved anvendelse som **elektrolyseceller**

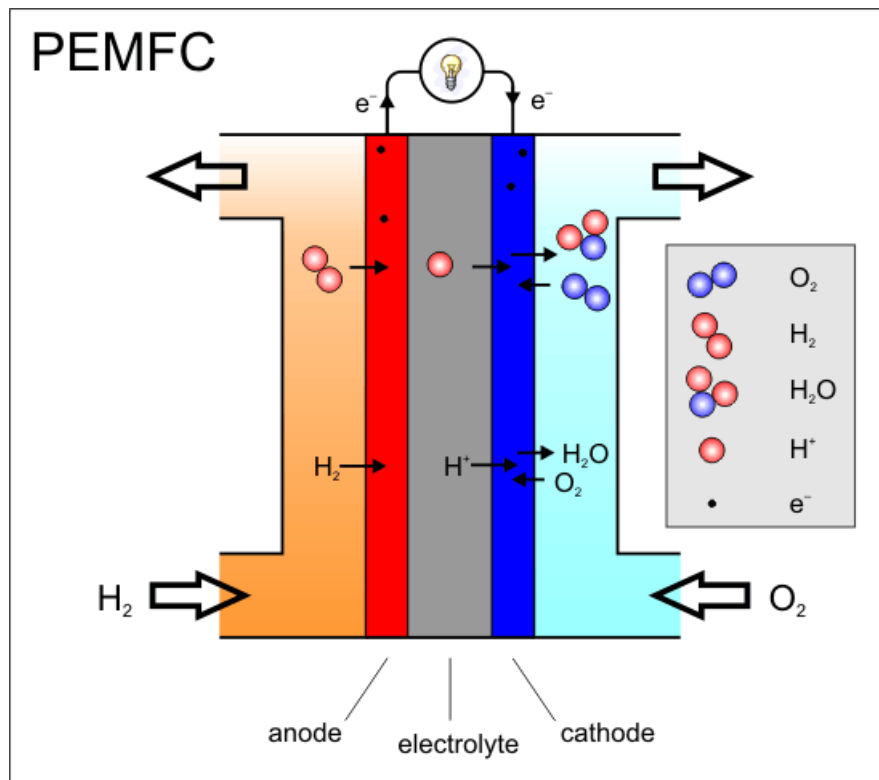
Hvorfor er brændselsceller og elektrolyseceller så knap nok på markedet i dag??

Hvad er en brændselscelle/elektrolysecelle?

- forskellige typer af celler

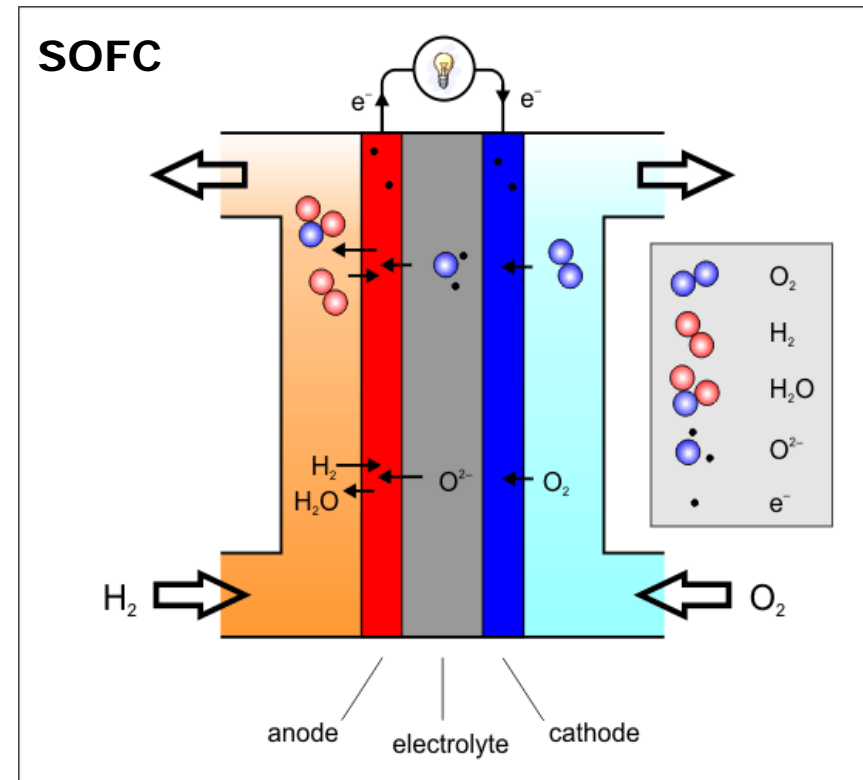
PEMFC
Polymer Electrolyte Membrane FC

Lav temp. cell $\sim 80-120\text{ }^{\circ}\text{C}$
Pt katalysator i elektroder



SOFC
Solid Oxide FC

Høj temp. cell $\sim 600-900\text{ }^{\circ}\text{C}$
Keramiske materialer, Ni kat. i anode



Hvad er en brændselscelle/elektrolysecelle?

- forskellige typer af celler



	AFC	PEMFC	PAFC	MCFC	SOFC
Name	Alkaline	Proton Exchange Membrane	Phosphoric Acid	Molten Carbonate	Solid Oxide
Electrolyte	Potassium hydroxide	Polymer membrane	Phosphoric acid	Salt melt	Ceramics
Anode	Porous nickel	Graphite w. platinum	Graphite w. platinum	Porous nickel	Nickel and ceramics
Cathode	Porous nickel	Graphite w. platinum	Graphite w. platinum	NiO w. Li ₂ O	Ceramics
Operation temp. (°C)	100	80-100	150-200	650	500-1000
Fuel	Very pure hydrogen	Pure hydrogen	Hydrogen with no CO	Hydrogen, CO, NG	Hydrogen, CO, NG
Efficiency	40	40	40	60	60
Applications	Space, military	Cars, mobile power	Small power plants	CHP (MW-range)	CHP (kW-MW)

Klassifikation ud fra type af elektrolyt.

5 forskellige typer brændselsceller.

→ Øges ved kombination med turbiner (CHP)....

Ladn. ion : OH⁻ H⁺ H⁺ CO₃²⁻ O²⁻

PEMFC > < SOFC

PEMFC:

Længst fremme/på markedet i dag, velegnet til transport/små skala anvendelser (lav temperatur), hurtig opstartstid. Kræver høj-rent brint (fordyrende), begrænset mængde af Pt.

SOFC:

Opnåelse af høje el-virkningsgrader (70%, i cyklus), høj temperatur dvs. bedst til stationære formål. Kan udover brint anvende brændsler som naturgas og forgasset biomasse (renheds-issues).

Er der vedvarende energi nok til os alle?

- om brændselsceller og elektrolysecellertil effektiv energikonvertering

Kl. 10.00-10.15: Intro

Kl. 10.15-10.20: Strække-ben-pause + demo

Kl. 10.20-10.35: Hvad er en brændselscelle/elektrolysecelle?

Kl. 10.35-10.45: Strække-ben-pause + demo

Kl. 10.45-11.10: Fastoxid brændselsceller – produktion og karakterisering

Kl. 11.10-11.15: Strække-ben-pause + demo

Kl. 11.15-11.30: Elektrolyseceller – at lagre energi til senere brug.

Fastoxid brændselsceller – produktion og karakterisering

- *Typiske materialer til SOFC*

Anode: Ni/Yttria-stabiliseret ZrO_2 (YSZ)

- Ni er elektronisk ledende, billigt og stabil i brint
- Ni er elektrokatalytisk for anode-reaktionen
- YSZ skal stabilisere strukturen
- anoden skal være porøs

Elektrolyt: YSZ er ilt-ionledende,

- tæt, stærk
- stabil både i reducerende og oxiderende atm.

Katode: strontium-dopet lantanmanganit (LSM),

- elektronisk ledende
- stabil i ilt
- katalytisk aktiv for katode-reaktionen
- katoden skal være porøs
- ...eller blandet leder LSCF eller LSC katode

Fastoxid brændselsceller – produktion og karakterisering DTU



- Fremstilling af fastoxid celler (SOFC & SOEC)

Anode-support "tape-cast'es" (tykt lag, mekanisk styrke til cellen).

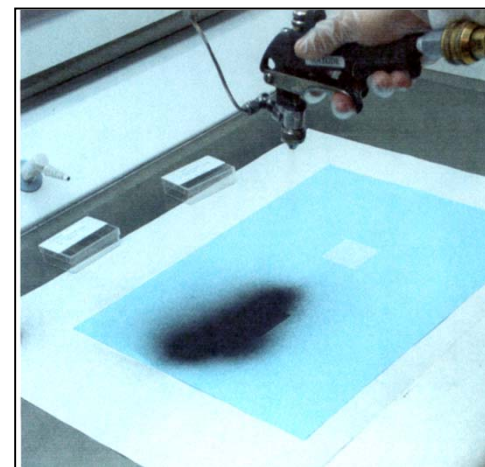
Den elektrokemiske aktive anode sprøjtes eller tape cast'es

Elektrolytten tape cast'es på.

"Halv-cellen" brændes i en ovn.

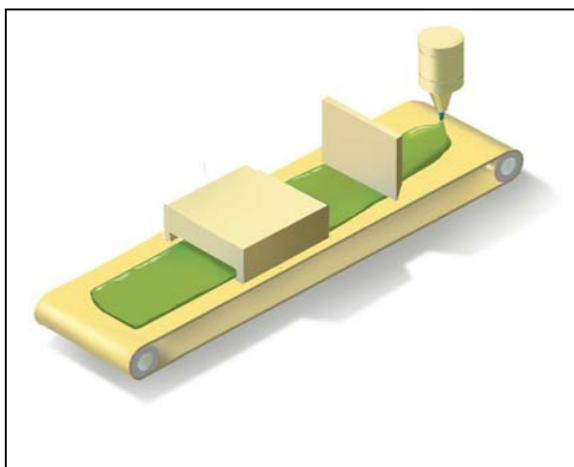
Katoden sprøjtes eller printes på den brændte halvcelle.

Hele cellen brændes igen.



Sprøjning

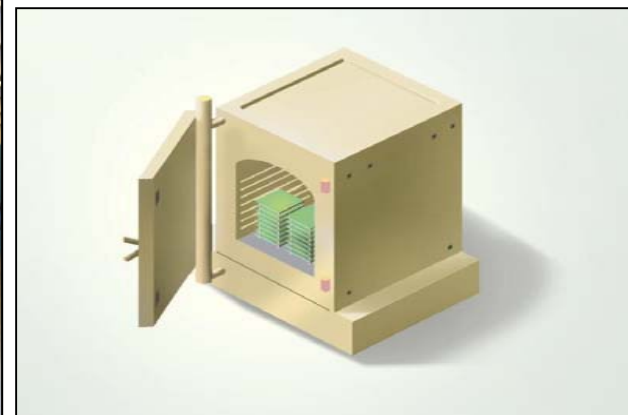
Tape-casting



Pre-pilot



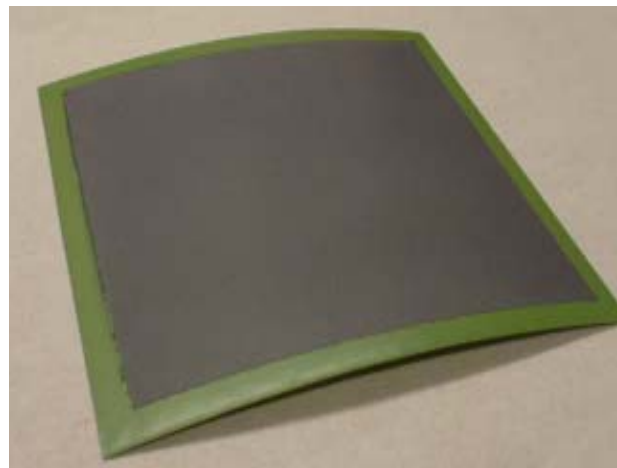
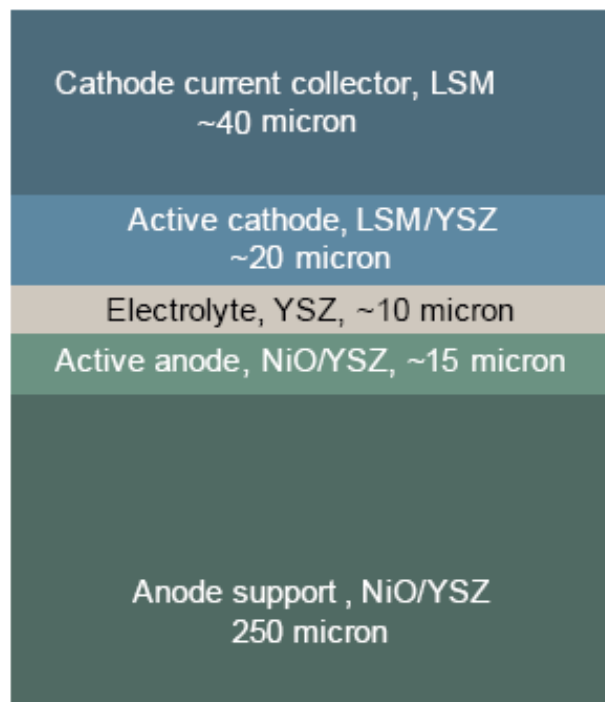
Ovn



Fastoxid brændselsceller – produktion og karakterisering

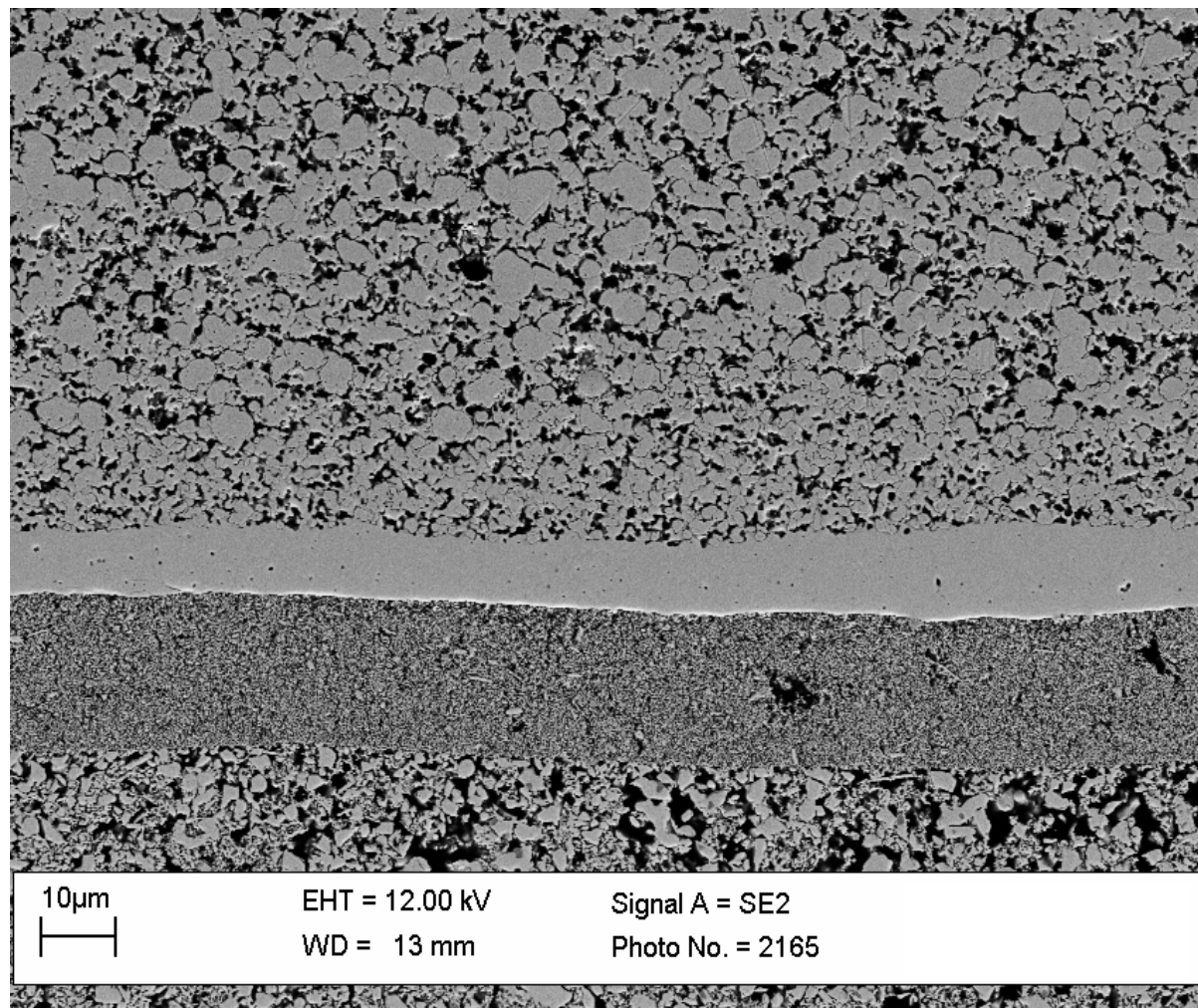
- *Celledesign og mikrostrukturer*

Eksempel: Anode supported Ni/YSZ-YSZ-LSM/YSZ based cell



5x5 cm² celle til enkelt celledet

- *Celledesign og mikrostrukturer*



Tværsnit af celle –
optaget på scanning
elektron mikroskop
(SEM)

Ni/YSZ support-lag

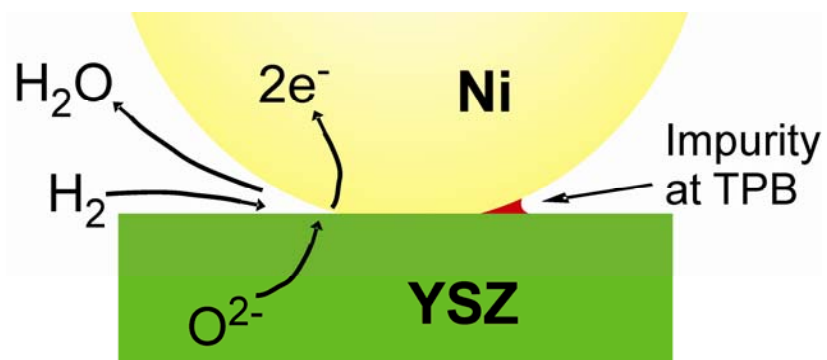
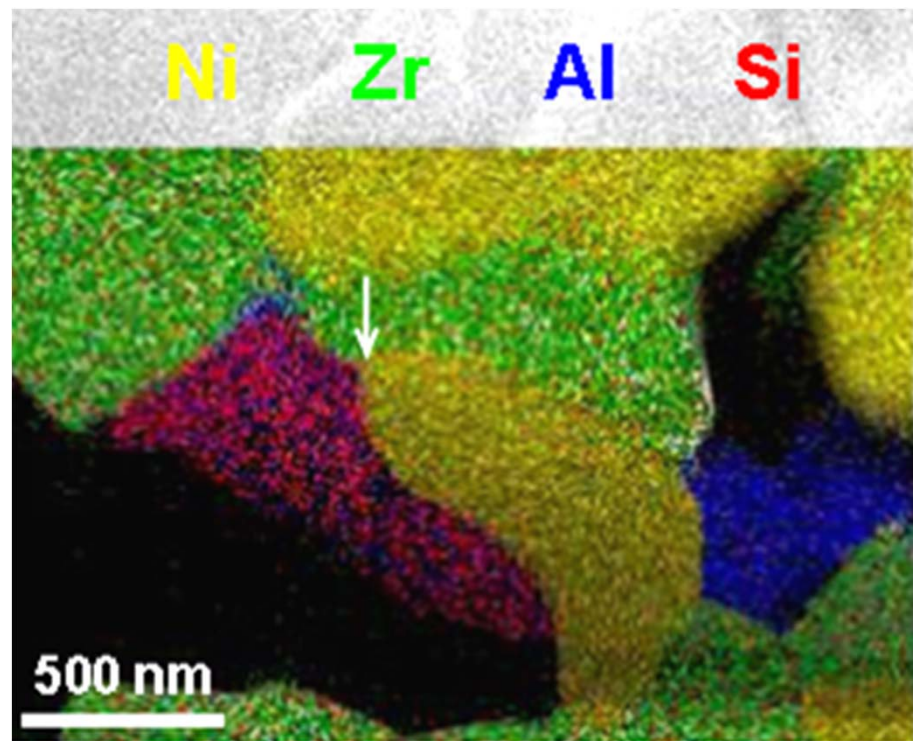
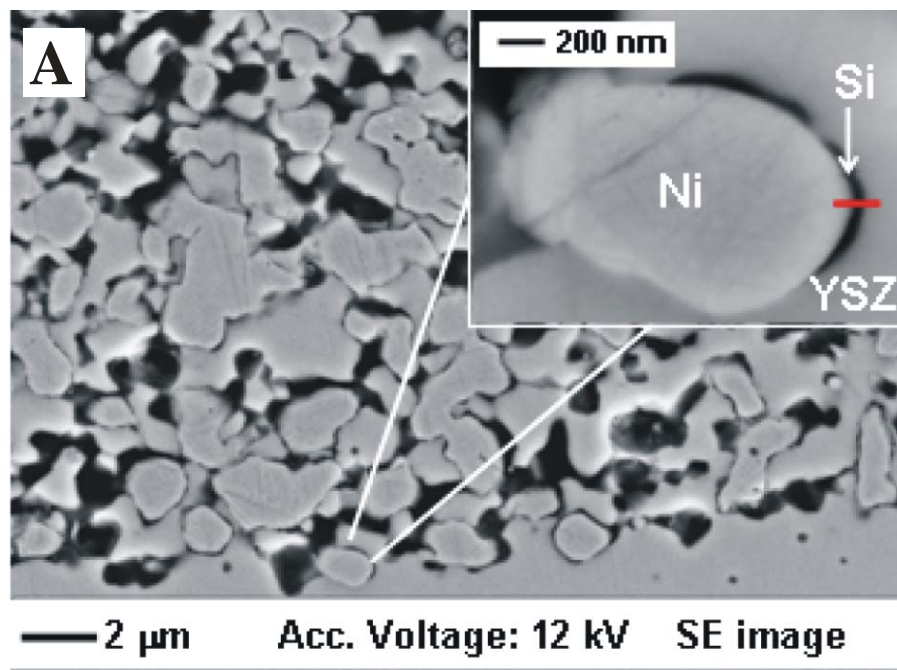
Ni/YSZ elektrode

YSZ elektrolyt

LSM-YSZ elektrode

Fastoxid brændselsceller – produktion og karakterisering DTU

- *Celledesign og mikrostrukturer*



Key parameter:
 Aktive sites
 Tre-fase-grænser
 (e⁻ og O²⁻ leder samt pore/"gas-leder")

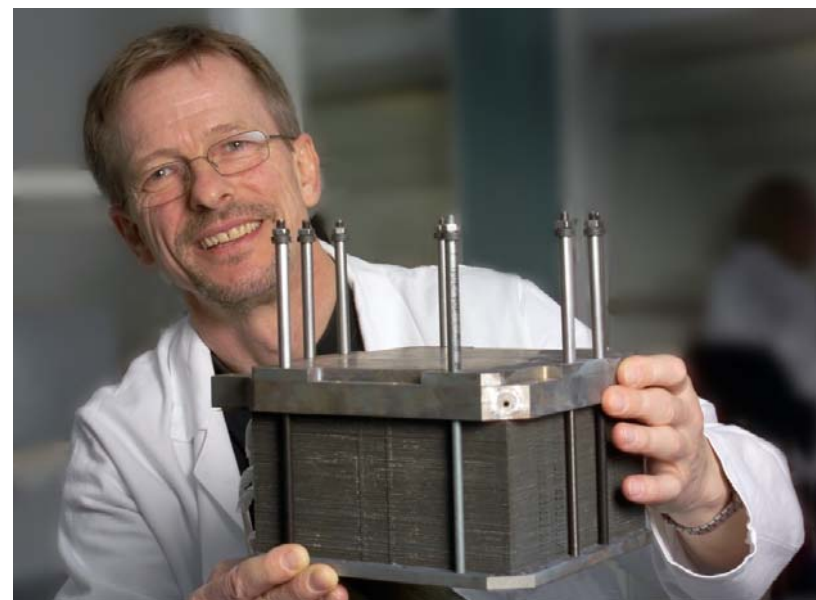
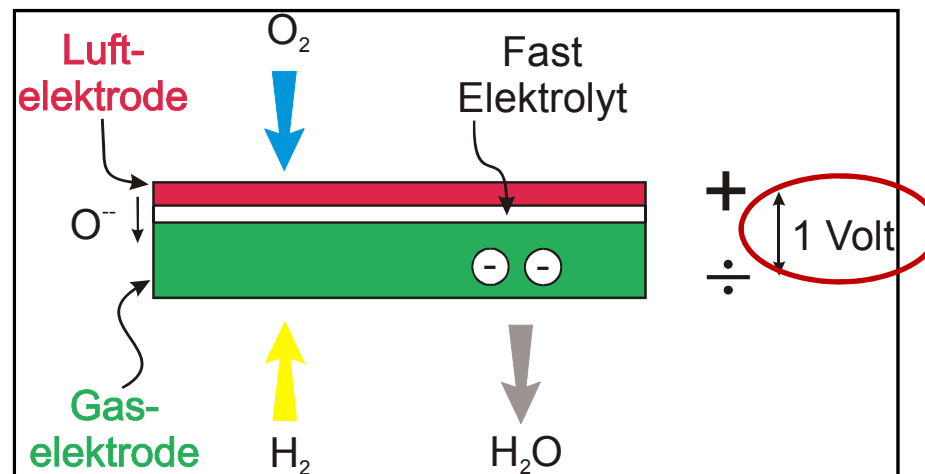
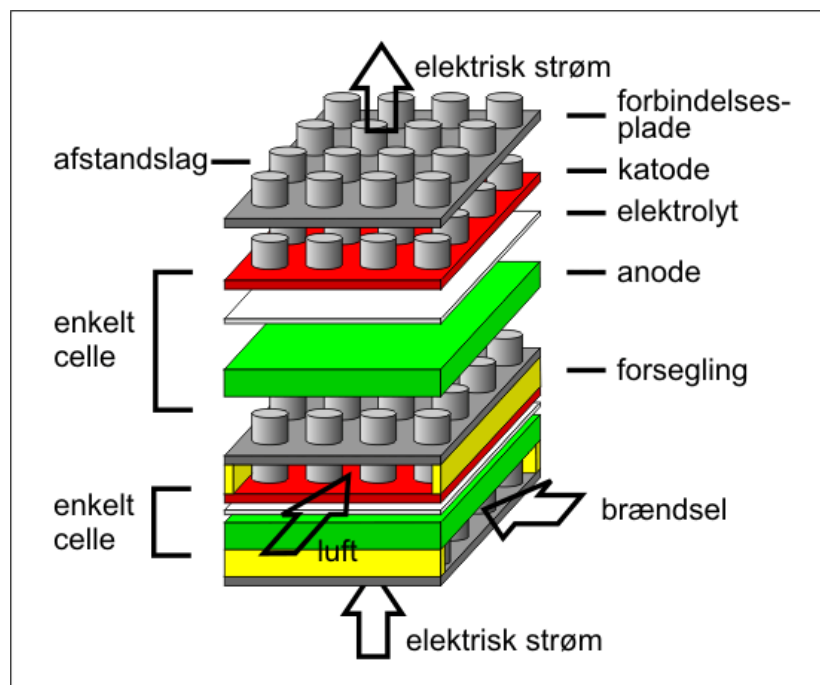
Fastoxid brændselsceller – produktion og karakterisering DTU



- Test og karakterisering

Set i et lidt større perspektiv...

2.5 kW/liter i stak

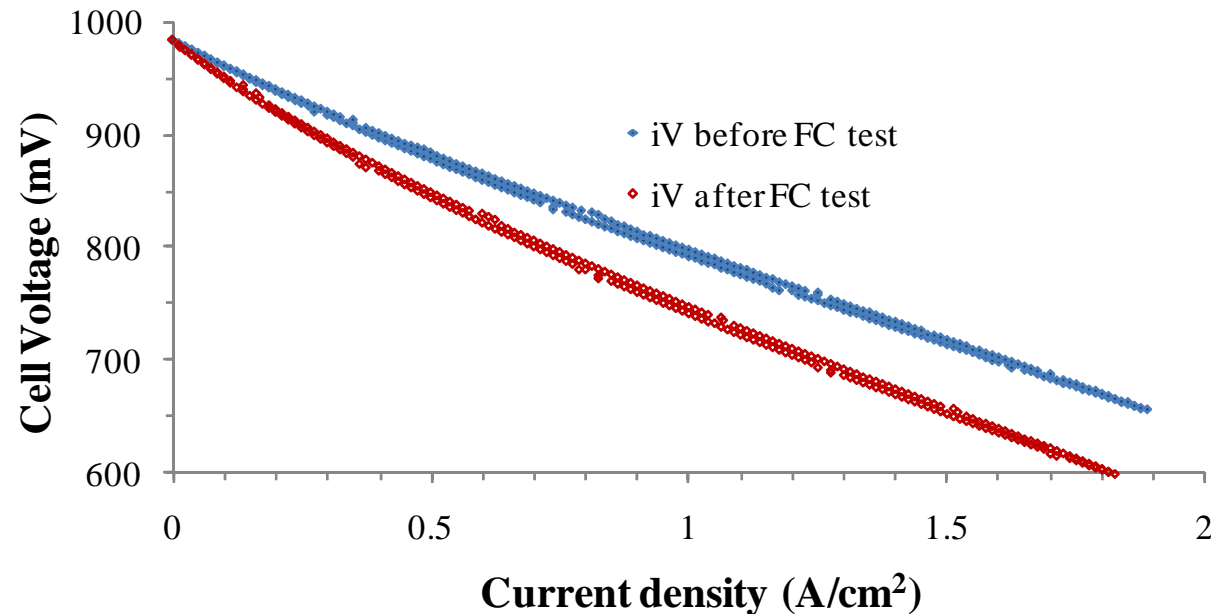


Fastoxid brændselsceller – produktion og karakterisering

- *Test og karakterisering*

2 nøgle-parametre: **performance (yderevne)** & levetid

Karakterisering via iV-kurver
(impedans spektroskopi)



*Hvordan finder vi cellens modstand ud fra en iV-kurve?
Og hvorfor er det vigtigt, at cellens modstand er lille?*

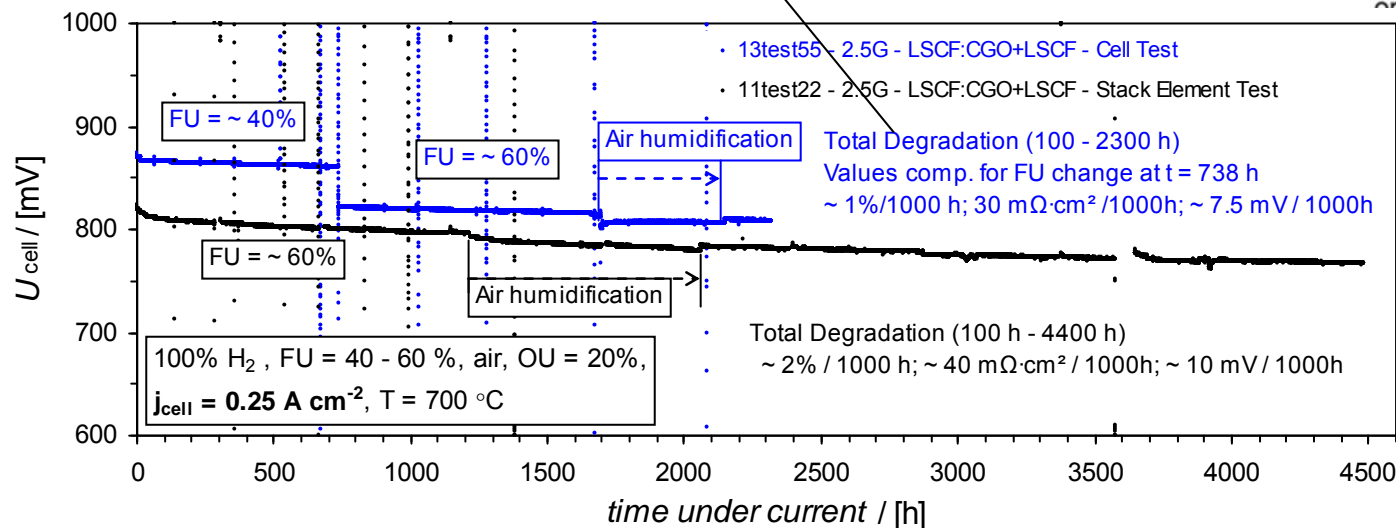
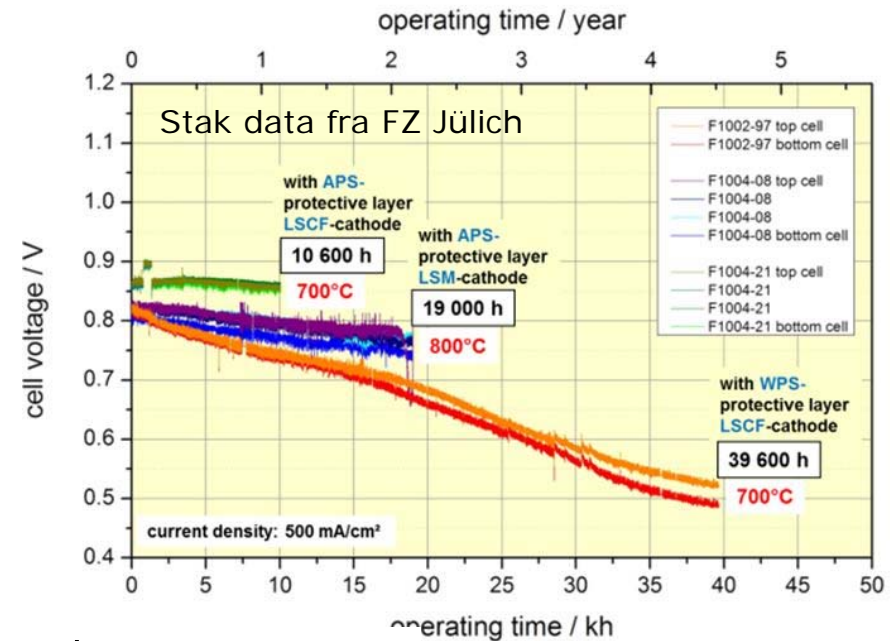
Fastoxid brændselsceller – produktion og karakterisering DTU

- Test og karakterisering

2 nøgle-parametre:

performance (yderevne) & **levetid**

Hvad betyder "degradation"?



Er der vedvarende energi nok til os alle?

- om brændselsceller og elektrolyseceller til effektiv energikonvertering

Kl. 10.00-10.15: Intro

Kl. 10.15-10.20: Strække-ben-pause + demo

Kl. 10.20-10.35: Hvad er en brændselscelle/elektrolysecelle?

Kl. 10.35-10.45: Strække-ben-pause + demo

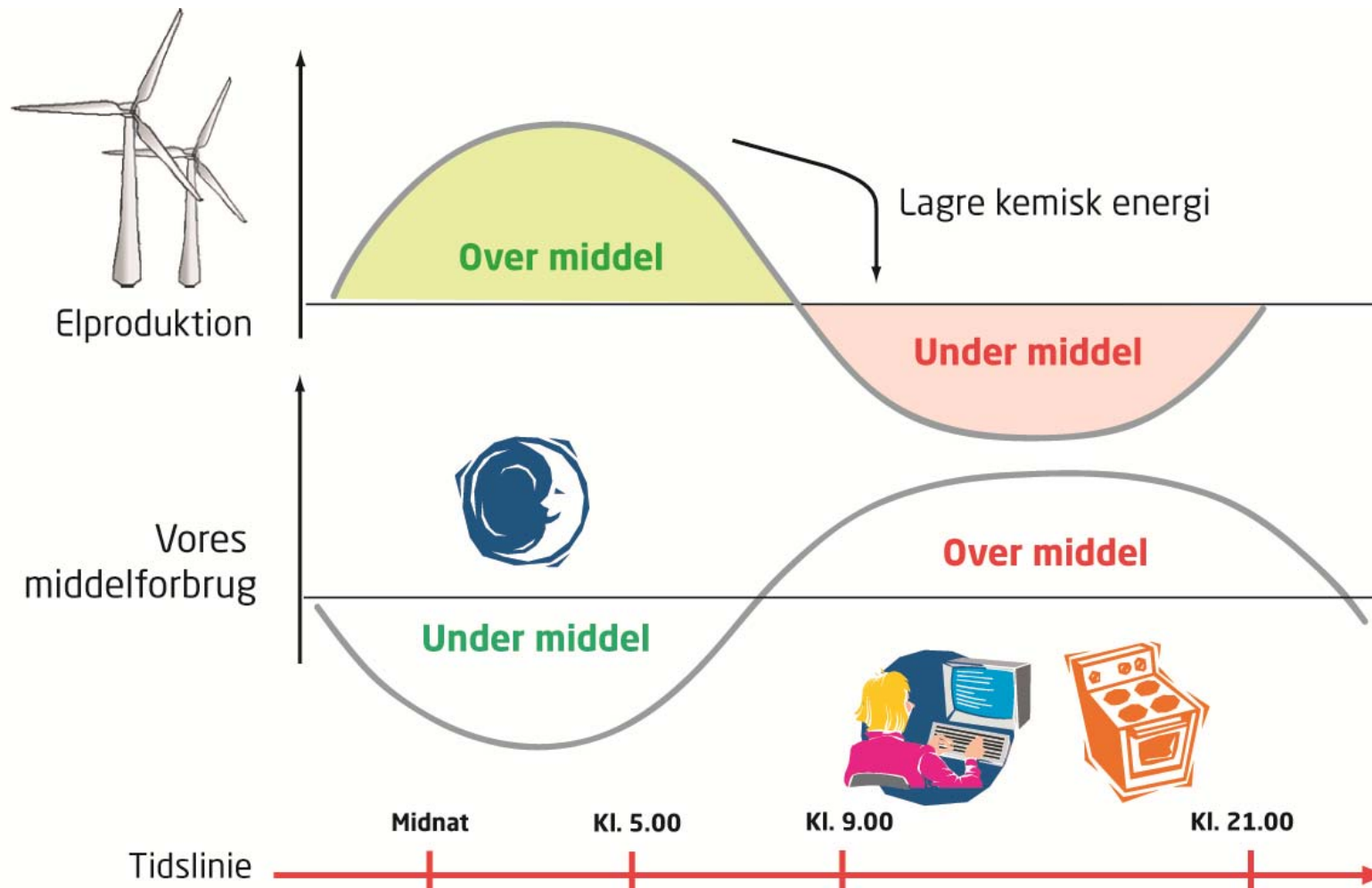
Kl. 10.45-11.10: Fastoxid brændselsceller – produktion og karakterisering

Kl. 11.10-11.15: Strække-ben-pause + demo

Kl. 11.15-11.30: Elektrolyseceller – at lagre energi til senere brug.

Elektrolyseceller – at lagre energi til senere brug

- Hvorfor og hvordan?



Elektrolyseceller – at lagre energi til senere brug

- Hvorfor og hvordan?



- Vedvarende energikilder giver ikke elektricitet, så det netop passer til forbrugernes behov hele tiden.
- Optimeret udnyttelse af elektricitet fra kernekraftværker og vindmøller.
- H₂ og carbonhydrider (metan, metanol, DME) fungerer som energi-bærere "opbevaringsmulighed"
- "Opbevaring" af energi er nødvendigt - kan så anvendes ved senere spidsbelastninger
- Energilagring kan gøres på flere forskellige måde fx elektrolyseceller eller via opladning af elbiler

Elektrolyseceller – at lagre energi til senere brug

- *Hvorfor og hvordan?*

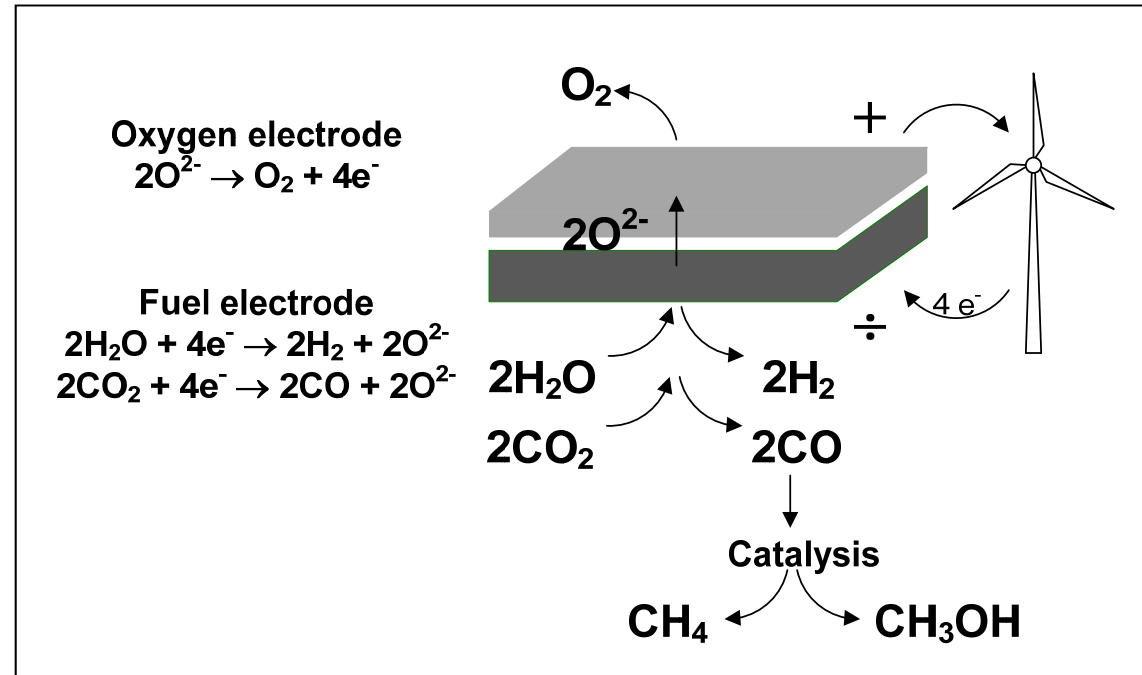
Vanddamps elektrolyse



Carbon dioxid elektrolyse



Co-elektrolyse af carbon dioxid og vanddamp

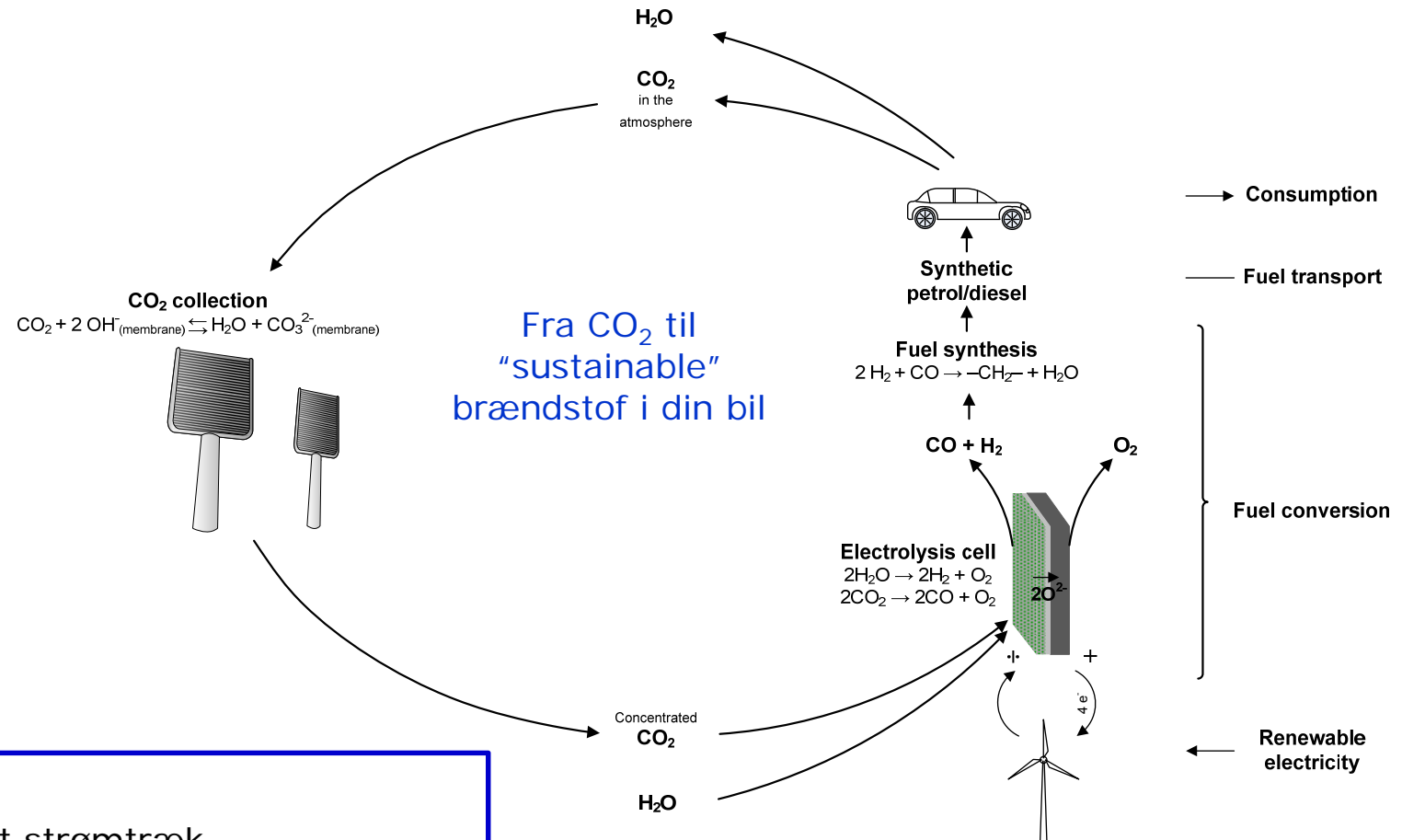


SOEC "in operation" nu

Fremtidsperspektiver...→

Elektrolyseceller – at lagre energi til senere brug

- *Visionerne og udfordringerne*

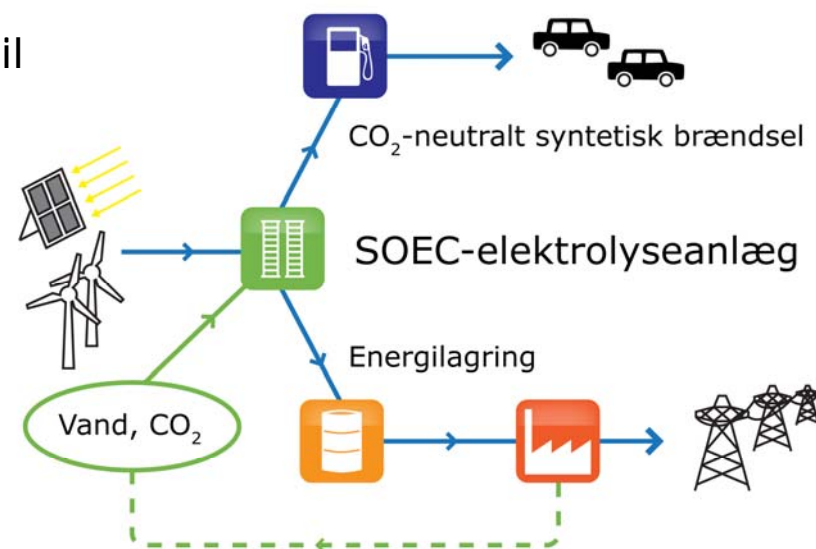


Critical issues:

1. Levetid ved højt strømtræk
2. Følsomhed for urenheder i inlet gasser
3. Skal brændselscellen og elektrolysecellen være én og samme? (reversibilitet)

Summary

1. Brændselscelle: Effektiv direkte omsætning af kemisk energi til elektrisk energi
2. Forskellige brændselscelletyper med forskellige fordele og ulemper fx lav-temp. polymerceller (PEMFC) og højtemperatur fastoxid brændselsceller (SOFC)
3. Key issues: **Celler med lav modstand, som er langtidsholdbare!**
4. Fastoxid brændselsceller (SOFC) er reversible.
Anvendes som **elektrolyseceller** (SOEC) til produktion af H_2 eller andre syntetiske brændsler.



Læs og lær mere...

Nanoteknologiske Horisonter – kapitel 5

(http://www.nano.dtu.dk/Nanoteknologiske-bog/fem_Fremtidens_energiforsyning)

Fuel Cell Handbook 7th edition

(<http://www.netl.doe.gov/File%20Library/research/coal/energy%20systems/fuel%20cells/FCHandbook7.pdf>)

Mere om DTU Energikonvertering og –lagring (www.ecs.dtu.dk)

Og altid velkomne til at kigge forbi DTU Energikonvertering – Risø Campus
og kontakte mig/os ☺

